Über die Gährungsgase von Sumpf- und Wasserpflanzen.

Von Joseph Boehm.

In einer Abhandlung „Über die Entwickelung von Gasen aus abgestorbenen Pflanzentheilen“ [1] publicirte ich die Resultate von diesbezüglichen Untersuchungen mit Blättern und Früchten von Landpflanzen und sprach die Absicht aus, in Bälde wieder auf den Gegenstand zurückzukommen. Da seitdem 9 Jahre verflossen sind, so hätte man glauben können, dass jene Erklärung mit dem Hintergedanken abgegeben wurde, um über mehrere offen gebliebene Fragen in üblicher Weise hinwegzugehen. Es war dies nicht der Fall. Erst vor zwei Jahren wurden mir bei Untersuchungen, welche zur Lösung einer ganz anderen Aufgabe gemacht wurden, mehrere bisher unverständliche Erscheinungen klar, und erst in der letzten Zeit war ich endlich in der Lage, die Resultate meiner späteren Arbeiten druckfertig zusammenzufassen.

In der citirten Abhandlung habe ich gezeigt, dass sich aus Blättern und Früchten von Landpflanzen, welche unter Wasser getaucht wurden, nach kürzerer oder längerer Zeit bei mittlerer Temperatur (am besten bei 30 bis 40° C.) Kohlensäure und Wasserstoff entwickeln, dass dies eine Todtenerscheinung und von Buttersäuregährung bedingt ist. Zu dieser Arbeit wurde ich angeregt durch die von Boussingault und mir unabhängig gemachte Beobachtung, dass unter den Respirationsproducten von grünen, unter Wasser getauchten Pflanzen in vollem Tageslichte bisweilen eine geringe Menge eines brennbaren Gases gefunden wird. Boussingault war nicht abgeneigt, das Auf-

---

[1] Böhm, Sitzungsb. d. kais. Akad. d. W. in Wien, 54. Bd. p. 176. 1866. — Observations sur les gaz dégagés par les plantes mortes. Ann. des sc. nat. bot. 5. ser. VIII (1867) p. 259—282.

treten eines solchen Gases unter besagten Umständen mit dem Assimilationsprocesse der Kohlensäure in Zusammenhang zu bringen, was ich aus mancherlei Gründen nicht für wahrscheinlich hielt. Meine Vermuthung, dass dieses Gas ein Zersetzungsproduct der theilweise abgestorbenen Versuchsobjecte sei, erwies sich bei eingehender Untersuchung als vollständig begründet; was mich aber an meinen Versuchsresultaten befremdete, war der Umstand, dass die von mir verwendeten, unter Wasser versenkten Pflanzentheile immer nur Kohlensäure und Wasserstoff, nie aber Sumpfgas entbanden, während wir doch dieses Gas im Hochsommer in jeder Pfütze sich entwickeln sehen, wo anderseits das Auftreten von Wasserstoff meines Wissens bisher nicht beobachtet wurde.

Ich vermuthete anfangs, dass der Widerspruch vielleicht dadurch bedingt sei, dass das aus Sümpfen entweichende Gas das Product von in der Zersetzung bereits weit fortgeschrittenen pflanzlichen Resten sei; das Gas aber, welches sich aus Humuserde, die ich in drei tubulirten Glasröhren vom 2. bis 10. August 1865 zwischen den Fenstern eines südseitigen Zimmers gähren liess, entwickelte, enthielt keine Spur von Sumpfgas; es bestand in Procenten aus:

	Kohlensäure	Wasserstoff	Stickstoff
a	62·75	10·79	26·46
b	87·86	—	12·14
c	79·58	—	20·42

[1] „Professor Scherer (Liebig's Ann. 1856, Bd. 99, pag. 257) fand bei seiner interessanten Analyse der an organischen Substanzen reichen Brückenauer Mineralquellen die niederen Glieder der Reihe der fetten Säuren und sprach über die Entstehung der Buttersäure Vermuthungen aus, welche durch die oben angeführten Untersuchungen vollkommen bestätigt werden. Dass Scherer in den von dem Wasser absorbirten Gasen keinen Wasserstoff aufgefunden, ist vielleicht entweder durch Diffusion oder durch die Gegenwart der vorhandenen Metalloxyde etc. (zu deren Reduction der Wasserstoff in statu nascenti verwendet wurde) bedingt." l. c. pag. 196.

Auch die weitere Vermuthung, dass das aus Sümpfen sich entwickelnde Gas der Zersetzung thierischer Körper seine Entstehung verdanke, erwies sich als unbegründet. Der Uferschlamm des Gmundener Sees, woraus beim Aufrühren mittelst eines Stabes am 22. August 1865 zahlreiche Gasblasen, von denen auch eine Portion zur Analyse aufgefangen wurde, sich erhoben, bestand nur aus verwesenden Vegetabilien, das Gas aber war zusammengesetzt aus:

Kohlensäure . . .	6·03
Sumpfgas	78·39
Stickstoff	15·58
	100·00

Das bisherige Räthsel schien sich in Folge dieser Erfahrungen nun in sehr einfacher Weise dahin zu lösen, dass Land- und Wasserpflanzen unter Wasser eine verschiedenartige Zersetzung erleiden. Der directe Versuch, den ich im September 1865 mit gekochten Algen[1] (aus dem Wienflusse) machte, gab jedoch ein auch dieser Voraussetzung widersprechendes Resultat. Das in drei Glocken vom 22. Sept. bis 28. October abgeschiedene Gas[2] bestand in Procenten aus:

	Kohlensäure	Wasserstoff	Stickstoff
a	54·53	36·05	9·42
b	92·31	—	7·69
c	83·48	—	16·52

Die wenigen dienstfreien Stunden des Winters 1865/6, während welchem ich nebst meinen Obliegenheiten an der Handelsakademie meinen damals beurlaubten, unvergesslichen Lehrer Unger supplirte, benützte ich zur Ausrechnung der im

[1] Gekocht wurden die Pflanzen, um sie rasch und sicher zu tödten.

[2] Die bei diesen Versuchen abgeschiedene Gasmenge findet sich in dem Protokolle nicht verzeichnet. Ebenso fehlt eine Angabe darüber, ob die Pflanzen noch heiss oder bereits völlig erkaltet in die Glocken gefüllt wurden; in Folge des hohen Stickstoffgehaltes scheint letzteres wahrscheinlicher.

vorhergegangenen Sommer gemachten Analysen mit dem Vorsatze, die Untersuchung im folgenden Jahre (1866) in noch grösserem Massstabe wieder aufzunehmen. Im Laufe des Frühjahres bereitete ich mir die Gährungsgefässe vor, welche in Anbetracht meiner beschränkten Mittel möglichst einfach sein mussten; sie bestanden, sowie die in der erwähnten Abhandlung abgebildeten, aus litergrossen, mit einem Gasentbindungsrohre versehenen Kochkolben und aus tubulirten, ziemlich gleich grossen 400—420 Cctm. fassenden Glocken von circa 3 Ctm. Durchmesser. Der Tubulus wurde mit einem gegen 4 Ctm. langen dickwandigen Kautschukschlauche verbunden, die obere Mündung des letzteren mit einem Glasstöpsel verschlossen und der Bindfaden mit Siegellack überzogen. Um die Diffusion der abgeschiedenen Gase in die äussere Luft zu verhindern, wurde über den ganzen Tubulus ein weiterer, gegen 10 Ctm. langer Kautschukschlauch gezogen, an seinem unteren Ende mittelst eines Bindfadens an die Glasröhre befestiget, mit Wasser gefüllt und mit einem Korkstöpsel verpfropft. Die ganz voll gefüllten Röhren wurden mit der flachen Hand verschlossen, in ein grosses Gefäss, welches frisches oder ausgekochtes (noch warmes oder bereits erkaltetes) Wasser enthielt, gestürzt und mittelst Trinkgläsern von geeigneter Grösse herausgehoben. In letztere wurde dann etwas Quecksilber gegossen und dafür gesorgt, dass dasselbe während der ganzen Versuchsdauer von Wasser bedeckt blieb. — Bei der Gasgewinnung wurde nach Wegnahme der Schutzröhre der dickwandige Kautschukschlauch mit einem Schraubenquetscher verschlossen, der Glasstöpsel entfernt, das freie, offene Ende des Schlauches mit Quecksilber ausgefüllt und eine tubulirte mit Quecksilber gefüllte Röhre aufgesetzt. Auf diese Weise kann mit Zuhilfenahme einiger anderer, sich bei der Arbeit von selbst ergebender Handgriffe das abgeschiedene Gas vollständig von Wasser befreit, bis fast auf das letzte Bläschen gewonnen werden. In jenen Fällen, wo der Gährungsversuch nach erfolgter Gasgewinnung in derselben Röhre fortgesetzt werden sollte, wurde die tubulirte quecksilberhältige Röhre mit einem kurzen Glasrohre von der Weite des Tubulus verbunden, die Flüssigkeit in dem Standgefässe durch frisches oder ausgekochtes Wasser ersetzt, die gasfreie Glocke bis über das

Quecksilber gehoben und das nun überschüssige Quecksilber mittelst einer Pipette herausgenommen.

Die Versuche selbst wurden zum grössten Theile erst mit Beginn der Ferien in Angriff genommen. Die Resultate der mühevollen Arbeit habe ich, wie schon oben bemerkt, desshalb nicht gleich publicirt, weil ich an der Hand derselben keine befriedigende Erklärung mehrerer Erscheinungen, welche mir von Wichtigkeit schienen, geben konnte. Wie man nämlich aus der folgenden Beschreibung der Versuche ersieht, fanden sich in der Zusammensetzung der aus denselben Apparaten bei ungeänderter Behandlung nach einander entbundenen Gasportionen oft Verschiedenheiten, welche aus anderen analogen, in ihren Gründen bekannten Erscheinungen nicht erklärt werden konnten.

Ich gehe nun zu dem Berichte über die Ergebnisse meiner Versuche nach den seinerzeit verfassten Protokollen über. Die Gründe, welche mich zur gewählten Anordnung des mitzutheilenden Stoffes bestimmten, werden theils im weiteren Verlaufe dieser, theils aus einer demnächst erscheinenden Abhandlung „über eine mit Wasserstoffabsorption verbundene Gährung" ersichtlich werden.

I. Versuche mit Pflanzen, bei denen nur ausgesprochene Buttersäuregährung beobachtet wurde.

1. Versuch[1]. ***Berula angustifolia.*** Ganz unter Wasser gewachsen. Vom 2. bis 4. September 1873 getrocknet, dann gekocht und nach dem Erkalten in frischem Wasser in eine 97 CC. fassende Glocke gefüllt. — Bis zum 24. September waren 20·36 CC. Gas abgeschieden, bestehend aus:

Kohlensäure...	85·17
Wasserstoff ...	8·49
Stickstoff	6·34
	100·00

[1] Dieser sowie die Versuche 18 bis 21 wurden zu Zwecken einer demnächst erscheinenden Abhandlung gemacht.

2. Versuch. ***Nasturtium officinale.*** Ganz unter Wasser gewachsen. Frisch in Brunnenwasser [1]. Das vom 2. August bis 10. October 1866 abgeschiedene Gas (34·42 CC.) bestand aus:

Kohlensäure...	26·83
Wasserstoff ...	31·22
Stickstoff	41·95
	100·00

3. Versuch. ***Veronica Anagallis.*** Ganz unter Wasser gewachsen. Nur wenige Blätter frisch in Brunnenwasser. Das vom 2. bis 12. August 1866 abgeschiedene Gas (23·41 CC.) war zusammengesetzt aus:

Kohlensäure...	22·87
Wasserstoff ...	53·23
Stickstoff	23·90
	100·00

4. Versuch. ***Veronica Beccabunga.*** Ganz unter Wasser gewachsen. Ziemlich viele Blätter frisch in Brunnenwasser. Vom 2. August bis 3. September 1866 wurden nur 16·82 CC. Gas abgeschieden. Die Analyse ergab:

Kohlensäure...	24·72
Wasserstoff ...	19·69
Stickstoff	55·59
	100·00

II. Neben Kohlensäure entwickelten sich nur Spuren von Wasserstoff.

5. Versuch. ***Potamogeton perfoliatus.*** Frisch im Brunnenwasser. Vom 27. Juli bis 8. August 1866 waren 45·37 CC. Gas abgeschieden, welches bestand aus:

Kohlensäure...	64·62
Wasserstoff ...	0·25
Stickstoff	35·13
	100·00

[1] Will sagen, dass mässig viele Pflanzen im frischen Zustande in beiläufig 400 Cub.-Ctm. fassende Glocken gebracht wurden.

III. Das in Folge des Gährungsprocesses entbundene Gas bestand nur aus Kohlensäure.

6. Versuch. ***Ceratophyllum demersum.*** Nicht viele Pflanzen frisch in Brunnenwasser vom 27. Juli bis 28. September 1866. Die Gasabscheidung erfolgte spät und langsam; erst in den heissen Tagen vom 23. und 24. August wurde sie etwas beträchtlicher. Das Gas (18·53 CC.) bestand aus:

Kohlensäure...	63·54
Stickstoff.....	36·46
	100·00

IV. Versuche mit Pflanzen, welche nur die Sumpfgasgährung erlitten.

7. Versuch. ***Hypnum Kneiffii*** Br. u. Sch. (*Hypnum aduncum* Hedwg.) Viele frische Pflanzen in Brunnenwasser. Vom 2. August bis 10. October 1866 wurden 501 CC. Gas abgeschieden. Die Analyse ergab:

Kohlensäure...	23·16
Sumpfgas.....	72·88
Stickstoff.....	3·96
	100·00

8. Versuch. ***Zanichellia dentata.*** Frische Pflanzen in Brunnenwasser. Die Analyse des vom 29. Juni bis 19. Juli 1866 abgeschiedenen Gases verunglückte. Der Apparat wurde frisch zusammengestellt. Bis zum 4. October waren wieder 26·6 CC. Gas entbunden, bestehend aus:

Kohlensäure...	1·90
Sumpfgas.....	69·21
Stickstoff.....	28·89
	100·00

9. Versuch. ***Zanichellia dentata.*** Am 2. August 1866 geholt, am 3. August gekocht und sammt dem Kochwasser in eine 830 CC. fassende Flasche gefüllt. Diese wurde mit einem Stöpsel verschlossen, in dessen Öffnung ein geeignet gebogenes Gasentbindungsrohr eingesenkt wurde. Der Kautschukstöpsel wurde ganz mit Siegellack überzogen und damit auch die Fuge zwischen ihm und dem Halsrande des Gefässes vollständig ausgefüllt. Das Gasentbindungsrohr wurde ebenfalls mit Wasser gefüllt; dasselbe mündete während der ganzen Versuchsdauer (8½ Jahre) in von Wasser bedecktes Quecksilber. Bei meiner Übersiedlung wurde es von Quecksilber und einer Kautschukkappe verschlossen und der Apparat in aufrechter Stellung übertragen.

Erst am 14. September 1866 war durch das entwickelte Gas das Wasser aus dem Entbindungsrohre verdrängt. Das ferner abgeschiedene Gas wurde in einer mit Quecksilber gefüllten, graduirten Röhre aufgefangen und in Portionen von 27 bis 30 CC. analysirt [1].

Die folgenden zwei Tabellen enthalten die Resultate der Analysen von den in verschiedenen Intervallen (in den Jahren 1866 bis 1874) aufgefangenen Gasen.

Abgeschieden	Bestand in Procenten aus		
	Kohlensäure	Sumpfgas	Stickstoff
vom 27. Sept. bis 2. October 1866	62·40	37·09	0·51
vom 6. bis 11. October 1866	58·64	41·19	0·17
vom 15. bis 25. October 1866	49·72	50·28	—

[1] Dass die ganze Gasportion nur zur Bestimmung der Kohlensäure verwendet, die weitere Untersuchung im Eudiometer aber nur mit beiläufig dem vierten Theile derselben gemacht wurde, versteht sich von selbst. Der Rest diente bei diesen und ähnlichen Versuchen zu einer allenfalls nothwendig gewordenen Wiederholung der Analyse. Eine solche Wiederholung ist natürlich dann oft unvermeidlich, wenn man über die Qualität des Gases ganz im Unklaren war.

Schon seit dem 23. October war die Gasentbindung bei einer Temperatur von 14 bis 16° C. ganz sistirt. Der Apparat blieb über Winter auf dem Gastische stehen. Im Frühjahre 1867 begann die Gasabscheidung nur sehr allmälig und wurde erst etwas lebhafter, nachdem die Temperatur auf 20° C. gestiegen war. Ganz ähnlich war der Gang der Gährung in den Herbst-, Winter- und Frühlingsmonaten der folgenden Jahre.

Abgeschieden	Bestand in Procenten aus	
	Kohlensäure	Sumpfgas
Vom 25. bis 28. Juli 1867	59·29	40·71
„ 3. bis 4. August 1867	45·91	54·09
„ 24. bis 31. August 1867	47·60	52·40
„ 12. bis 23. September 1867	48·42	51·58
„ 24. Juni bis 3. Juli 1868	39·27	60·73
„ 13. bis 29. August 1868	41·64	58·36
„ 17. bis 29. Juli 1869	38·43	61·57
„ 8. bis 26. August 1869	33·74	66·26
„ 4. bis 22. Juli 1870	29·52	70·48
„ 22. Juli bis 1. October 1870	32·49	67·51
„ 19. Juni bis 13. Juli 1871	19·16	80·84
„ 13. Juli bis 15. October 1871	35·17	64·83
„ 29. Juni bis 3. October 1872	33·36	66·64
„ 3. Juni bis 27. August 1873	34·46	65·54
„ 27. August bis 10. October 1873	23·24	76·76
„ 11. Juli bis 23. September 1874	31·02	68·98

Am 1. April dieses Jahres wurde der Apparat aus dem Gaszimmer ins Laboratorium in die Nähe des Ofens übertragen. Alsbald entbanden sich, wenn auch langsam, wieder Gasblasen. Am 8. April wurde der Versuch geschlossen; der Inhalt reagirte stark alkalisch.

V. Die aus demselben Apparate bei gleich gebliebener Behandlung[1] nach einander entwickelten Gase sind Producte verschiedener Gährungsprocesse.

10. Versuch. ***Alisma Plantago.*** Frisch in Brunnenwasser am 22. Juli 1866. Bis zum 1. August waren 51·7 CC. Gas abgeschieden, welche bestanden aus:

Kohlensäure...	43·15
Wasserstoff ...	16·82
Stickstoff	40·03
	100·00

Das vom 1. August bis 30. September angesammelte Gas bestand aus:

Kohlensäure..	30·68
Sumpfgas	56·52
Stickstoff	12·80
	100·00

11. Versuch. ***Callitriche verna.*** Frisch in Brunnenwasser am 2. August 1866. Die bis zum 8. August entbundenen 64·3 CC. Gas bestanden aus:

Kohlensäure...	71·85
Stickstoff	28·15
	100·00

Bis zum 5. October waren wieder 53·8 CC. Gas abgeschieden, zusammengesetzt aus:

Kohlensäure...	30·02
Sumpfgas	52·22
Stickstoff	17·76
	100·00

[1] Während der ganzen Versuchsdauer wurden die Apparate nicht zerlegt, die Flüssigkeit in den Glocken daher nur insoferne erneuert, als das verdrängte Wasser nach der Gasgewinnung durch frisches ersetzt wurde.

12. Versuch. ***Potamogeton natans.*** Frisch in Brunnenwasser am 2. August 1866. Bis zum 8. August waren 59·2 CC. Gas abgeschieden, bestehend aus:

Kohlensäure...	60·03
Stickstoff.....	39·97
	100·00

In dem bis zum 20. October abgeschiedenen Gase wurde gefunden:

Kohlensäure...	26 57
Wasserstoff ...	19·02
Sumpfgas.....	45·18
Stickstoff.....	9·23
	100·00

13. Versuch. ***Potamogeton pusillus.*** Frisch in Brunnenwasser am 27. Juli 1866. Die Analyse des bis zum 10. August abgeschiedenen Gases ergab:

Kohlensäure...	75·51
Wasserstoff ...	2·87
Stickstoff	21·62
	100·00

In dem bis zum 21. September entbundenen Gase (?CC.) wurde gefunden:

Kohlensäure...	25·79
Sumpfgas.....	70·86
Stickstoff.....	3·35
	100·00

Bis zum 19. October waren wieder 118·6 CC. Gas angesammelt, zusammengesetzt aus:

Kohlensäure...	24·44
Sumpfgas.....	72·85
Stickstoff.....	2·71
	100·00

14. Versuch. ***Spirogyra quinina.*** Die Pflanzen lagen vom 29. Juni bis 2. Juli 1866 in einem Siebe aufgehäuft im Keller bei einer Temperatur von 17° C., wo sie sich ganz mit einem weissen Schimmel überzogen hatten. Eine nicht sehr grosse Menge wurde mit Brunnenwasser in einen Kolben gefüllt und dieser mit einem Gasentbindungsrohre versehen. Das abgeschiedene Gas wurde gleich in ein mit Quecksilber gefülltes, 204 CC. fassendes Glasrohr geleitet und das zuerst ausgetriebene Wasser durch das folgende Gas verdrängt, was am 19. Juli geschehen war. Dieses Gas bestand aus:

Kohlensäure...	86·74
Wasserstoff ...	1·33
Stickstoff	11·93
	100·00

Am 21. Juli wurde die Gasentbindungsröhre durch die aufgetriebene Alge verstopft. Beim Öffnen des Kolbens am 12. August unter Wasser wurde der den Hals des Gefässes verschliessende Algenbrei mit Gewalt herausgetrieben [1] und sichtlich ein nicht unbedeutender Theil des Gases absorbirt. Der Rest bestand aus:

Kohlensäure...	56·46
Sumpfgas	37·21
Stickstoff	6·33
	100·00

15. Versuch. ***Spirogyra.*** Vom 27. bis 31. Juli 1866 in einer Wasserwanne dem vollen Tageslichte ausgesetzt, dann gekocht und sammt dem noch sehr heissen Kochwasser in die Glocke gefüllt. Die Gasentwicklung begann erst am 18. August. Am 29. August waren 32·5 CC. Gas abgeschieden, dessen Analyse ergab:

[1] Die Algen verbreiteten einen penetranten Geruch, ähnlich dem von aufgerührten Senkgruben und wie er in Pfützen des Wienflusses, wo die Pflanze in trockenen Jahren massenhaft auftritt, entwickelt wird. Die gleiche Eigenschaft besassen in mehr weniger hohem Grade alle Wasserpflanzen, welche die Sumpfgasgährung erlitten hatten.

Kohlensäure . . . 96·57
Stickstoff . . . . . 3·43
100·00

Vom 29. August bis 18. October hatten sich wieder 32·89 CC. Gas angesammelt. Dasselbe bestand aus:

Kohlensäure . . . 92·13
Wasserstoff . . . 7·42
Stickstoff . . . . . 0·45
100·00

VI. Versuche mit Pflanzen, bei welchen sich in denselben Apparaten in Folge der Behandlung die Gährungsarten änderten.

16. Versuch. ***Spirogyra.*** Vom 27. bis 31. Juli 1866 in einer Wasserwanne dem vollen Tageslichte ausgesetzt, dann gekocht und sammt dem noch warmen Kochwasser in die Glocke gefüllt.

Das in diesem Apparate entbundene Gas wurde in vier Portionen untersucht.

		Zusammengesetzt aus:		
		Kohlensäure	Wasserstoff	Stickstoff
1. Portion, am 5. August.	162 CC.	53·26	35·90	10·84
2. Portion, am 18. August.	89 CC.	82·21	12·37	5·42
3. Portion, am 28. October.	96 CC.	89·89	5·48	4·63

Der Apparat blieb über Winter im Gaszimmer. Nach dessen Zerlegung am 2. Mai 1867 wurde die Alge auf dem Filter so lange gewaschen, bis das Filtrat kaum mehr sauer reagirte und dann mit Brunnenwasser wieder in die Glocke gefüllt und diese zwischen die Fenster eines südseitigen Zimmers gestellt. — Bereits am 26. Mai war abgeschieden die 4. Portion, 184 CC., bestehend aus:

Kohlensäure . . . 35·88
Sumpfgas . . . . . 59·12
Stickstoff . . . . . 5·00
100·00

Die Glocke war auf der Lichtseite ihrer ganzen Länge nach mit einem rothen Beschlage belegt.

17. Versuch. Zu diesem Versuche wurden, sowie zu dem Versuche 14, Algen verwendet, welche sich, während sie vom 29. Juni bis 2. Juli in einem Siebe aufgehäuft im Keller lagen, ganz mit einem weissen Schimmel überzogen hatten. Viele dieser Algen wurden mit Brunnenwasser in einen Kolben gebracht.

Schon am 4. Juli war die Gasentwicklung eine recht lebhafte. Erst das am 7. Juli von 8 Uhr Früh bis 4 Uhr Abends entbundene Gas (45·36 CC.) wurde über Quecksilber aufgefangen. Es bestand dasselbe aus:

Kohlensäure . . .	93·19
Wasserstoff . . .	3·50
Stickstoff	2·31
	100·00

Das zur nächsten Analyse am 9. Juli von 8 Uhr Früh bis 4 Uhr gesammelte Gas (31·62 CC.) wurde bis auf einen kleinen Rest von Kali absorbirt. Um die Natur dieses Restes kennen zu lernen, wurde bei der Analyse der nächsten Gasportion (34·31 CC., abgeschieden am 12. Juli während 12 Stunden) auch die Absorption der Kohlensäure im Eudiometer vorgenommen. Es wurde gefunden:

Kohlensäure . . .	97·87
Wasserstoff . . .	1·51
Stickstoff	0·62
	100·00

In Folge der Verstopfung des Kolbenhalses und des Entbindungsrohres, welchem Übelstande durch Schütteln des Apparates nicht mehr abgeholfen werden konnte, wurde der Apparat geöffnet, der sauer reagirende Inhalt auf einem Siebe ausgewaschen und mit Brunnenwasser wieder in den Kolben gefüllt. Dieser wurde aber nicht mehr mit einem Entbindungsrohre versehen, sondern in ein wasser- und quecksilberhältiges Trinkglas gestürzt. — Am 12. October war er voll Gas. Dasselbe wurde unter Wasser gewonnen und bestand aus:

Kohlensäure...	34·27
Sumpfgas.....	61·53
Stickstoff.....	4·20
	100·00

Nachdem der stark alkalisch reagirende Algenbrei in obiger Weise wieder mit Wasser abgespült war, wurde derselbe im Kolben mit kochend heissem Wasser abgebrüht und der Kolben, nachdem er auf circa 40° abgekühlt war, mit einem ebenfalls heisses Wasser enthaltenden Entbindungsrohre armirt. Der Apparat wurde in der Nähe des Ofens aufgestellt.

Die Blasenbildung begann schon am 16. October. In dem am 2. September während 12 Stunden abgeschiedenen Gase (23·47 CC.) wurde gefunden:

Kohlensäure...	49·76
Wasserstoff ...	50·24
	100·00

Das am 23. und 24. September abgeschiedene Gas bestand aus:

Kohlensäure...	51·47
Wasserstoff ...	48·53
	100·00

Die Flüssigkeit in dem sodann zerlegten Apparate reagirte stark sauer. Der Kolbeninhalt wurde nun in ein Sieb entleert und dieses unterhalb des halb geöffneten Auslaufrohres der Wasserleitung aufgehängt [1]. Am 27. September wurde der Brei mit kaltem Wasser wieder in den Kolben gefüllt und dieser, in ein wasser- und quecksilberhältiges Trinkglas gestürzt, wieder in der Nähe des Ofens aufgestellt.

Die Gasentwicklung begann erst gegen Mitte December. Die aus dem Kolben in das Standgefäss gedrängte Flüssigkeit

[1] Da die Maschen des Siebes durch den Algenbrei immer wieder verstopft wurden und ein zu weitmaschiges Netz natürlich vermieden werden musste, so ging das Reinauswaschen in diesen und ähnlichen Fällen nur langsam von Statten. Andere Methoden (Pressen durch Leinwand, Decantiren) erwiesen sich noch unpraktischer.

reagirte sauer. — Am 18. März 1867 war mehr als die Hälfte des Kolbens mit Gas gefüllt. Dieses, unter Wasser gewonnen, erwies sich in folgender Weise zusammengesetzt:

Kohlensäure . .	44·62
Sumpfgas	52·07
Stickstoff	3·31
	100·00

Nachdem das Wasser abgelaufen war, wurde ein zwischen die sehr übelriechende Algenmasse gestecktes rothes Lakmuspapier alsbald gebläut.

VII. Versuche mit denselben Objecten bei verschiedener Behandlung.

18. Versuch. ***Fontinalis antipyretica.*** Vom 2. bis 4. September 1873 an der Sonne getrocknet, dann kalt aufgeweicht und mit Brunnenwasser in eine kleine 107 CC. fassende Glocke gebracht. Am 6. September waren nur wenige Bläschen, am 13. October 49·8 CC. Gas abgeschieden. Dasselbe bestand aus:

Kohlensäure . . .	26·32
Sumpfgas	59·98
Stickstoff	13·70
	100·00

19. Versuch. ***Fontinalis antipyretica.*** Vom 2. bis 4. September 1873 an der Sonne getrocknet, dann gekocht und mit dem noch ziemlich heissen Kochwasser in die 87 CC. fassende Glocke gebracht. Bereits am 6. September waren 27·4 CC. Gas abgeschieden, welches bestand aus:

Kohlensäure . . .	53·94
Wasserstoff . . .	44·51
Stickstoff	1·55
	100·00

20. Versuch. ***Potamogeton pusillus***[1]. Vom 2. bis 4. September 1873 an der Luft getrocknet, dann kalt aufgeweicht und in ziemlich grosser Menge in eine 120 CC. fassende Glocke gefüllt. Am 19. October waren nur 14·75 CC. Gas abgeschieden; dasselbe bestand aus:

Kohlensäure...	80·64
Stickstoff.....	19·36
	100·00

21. Versuch. ***Potamogeton pusillus.*** Ebenfalls vom 2. bis 4. September 1873 an der Luft getrocknet, gekocht und nach 6stündigem Erkalten sammt dem Kochwasser in die 123 CC. fassende Röhre gefüllt. Erst Anfangs October waren einige Gasblasen sichtbar. Am 19. October waren 18·44 CC. Gas abgeschieden[2]. Die Analyse ergab:

Kohlensäure...	46·63
Sumpfgas.....	48·85
Stickstoff.....	4·52
	100·00

22. Versuch. ***Ranunculus aquatilis.*** Am 27. Juli 1866 frisch in eine Glocke mit Brunnenwasser. Am 5. August waren 56·4 CC. Gas abgeschieden, welches bestand aus:

Kohlensäure...	51·05
Wasserstoff...	41·51
Stickstoff.....	7·44
	100·00

---

[1] In diese Gruppe gehört auch der Versuch 13, bei welchem von frischen Pflanzen der genannten Art in derselben Glocke anfangs nur Kohlensäure mit Spuren von Wasserstoff, später aber ein an leichtem Kohlenwasserstoffe reiches Gas entbunden wurde.

[2] Es fällt auf, dass vom getrockneten, sowohl gekochten als nicht gekochten Laichkraute im Vergleiche zu dem frisch in Verwendung gekommenen beim Versuche 13 so wenig Gas abgeschieden wurde. Seit dem 2. October standen beide Apparate im Warmhause in der Nähe des Heizrohres. Es ist aber zu bemerken, dass der Versuch 13 mit viel jüngeren Pflanzen gemacht wurde.

Das bis zum 18. October angesammelte Gas (33 CC.) bestand aus:

Kohlensäure...	91·87
Wasserstoff ...	3·40
Stickstoff	4·73
	100·00

23. Versuch. ***Ranunculus aquatilis.*** Vom 27. bis 29. Juli 1866 getrocknet, dann gekocht und nach dem Erkalten mit frischem Brunnenwasser in die Glocke gefüllt. Das am 16. August abgeschiedene Gas (53·2 CC.) war zusammengesetzt aus:

Kohlensäure...	96·64
Stickstoff	3·36
	100·00

24. Versuch. ***Ranunculus aquatilis.*** Vom 2. bis 4. September 1873 getrocknet und noch ziemlich warm mit dem Kochwasser in eine 123 CC. fassende Glocke gefüllt. Am 24. September waren 27·68 CC. Gas abgeschieden, bestehend aus:

Kohlensäure...	93·05
Stickstoff	6·95
	100·00

25. Versuch. ***Spirogyra.*** Am 27. Juli 1866 wurden frische Pflanzen in drei Glocken in Brunnenwasser gebracht. Am 20. September wurden die Gase gewonnen. Sie bestanden in Procenten aus:

		Kohlensäure	Sumpfgas	Stickstoff
a)	52·7 CC.	57·44	34·93	7·63
b)	47·5 CC.	48·92	41·47	9·61
c)	38·6 CC.	52·56	37·18	10·26

26. Versuch. ***Spirogyra.*** Am 27. Juli 1866 geholt, bis am 28. Juli in frischem Brunnenwasser aufbewahrt, dann in einen Kolben gefüllt, dieser in einen Tubulus ausgezogen und mittelst eines sehr dickwandigen Kautschukschlauches mit einem Entbindungsrohre, welches mit seiner aufwärts gebogenen Mündung in ein wasserhältiges Becherglas eingesenkt wurde, armirt. Der Kolben wurde sodann während einer vollen Stunde ausgekocht, dann die Flamme unter demselben entfernt und unter das Becher-

glas gestellt. Beim Abkühlen füllte sich der Kolben natürlich mit kochendem Wasser. Da sich nach der ersten Operation im horizontalen Stücke des Entbindungsrohres noch eine Luftblase zeigte, wurde der Kolben abermals erhitzt. Nachdem die Luft vollständig ausgetrieben war und der Kolben sich abgekühlt hatte, wurde das Entbindungsrohr in Quecksilber getaucht und über die Mündung desselben eine mit Quecksilber gefüllte Röhre befestiget. Der Apparat verblieb bis zum Schlusse des Versuches im Gaszimmer.

Mit dem zuerst entbundenen Gase wurde natürlich auch Wasser in das Gasansammlungsrohr gedrückt, aber durch das später entwickelte Gas wieder verdrängt. Die folgende Tabelle enthält die Resultate der Analysen der von Zeit zu Zeit gesammelten Gasportionen.

Zeit der Entbindung	Entbundene Gasmenge	Procentgehalt an	
		Kohlensäure	Wasserstoff
Vom Beginne des Versuches bis zum 24. Aug.	42·55 CC.	29·30	70·70
Am 25. August, während 8 Stunden . . .	34·49 CC.	52·62	47·38
Am 27. August, während 8 Stunden . . .	33·31 CC.	61·24	38·76
Am 29. August, während 8 Stunden . . .	42·36 CC.	70·63	29·37
Vom 9. bis 10. Sept., während 24 Stunden .	35·42 CC.	73·70	26·30
Vom 26. bis 29. September	37·28 CC.	72·88	27·12
Vom 2. bis 7. October	31·43 CC.	71·61	28·39

27. Versuch. ***Spirogyra.*** Am 27. Juli 1866 geholt, bis am 28. Juli in frischem Brunnenwasser aufbewahrt, dann mit 3/4 Ltr. Brunnenwasser in einem 1½ Ltr. hältigen Kolben gefüllt, dieser in eine feine Spitze ausgezogen und während des Kochens zugeschmolzen. Der Kolben wurde sodann bis am 22. October an ein südseitiges Fenster gestellt. Nach dem Öffnen unter Wasser füllte sich derselbe bis auf circa 3—4 CC. Der grösste Theil dieser geringen Gasmenge wurde vom Wasser und der Rest, mit Ausnahme einer ziemlich kleinen Blase, von Kali absorbirt.

Aus der vorstehenden Darstellung meiner Versuche, zusammengehalten mit den Resultaten meiner früheren Unter-

suchungen über diesen Gegenstand, ersieht man also, dass mit Ausnahme von *Alisma* und *Hypnum Kneiffii* nur bei der Verwesung genuiner Wasserpflanzen unter Wasser Sumpfgas entwickelt wird, während vollständig unter Wasser gewachsene Sumpfpflanzen (*Berula, Nasturtium, Veronica*), natürlich neben Kohlensäure, nur Wasserstoff entbanden [1]. Eine andere Frage ist aber nun die, ob alle eigentlichen Hydrophyten bei ihrer Zersetzung unter Wasser Sumpfgas ausscheiden oder doch unter gewöhnlichen Verhältnissen ausscheiden können? Bei den oben angeführten Versuchen fehlte dieses Gas unter den Gährungsproducten von *Potamogeton perfoliatus* (Versuch 5) und *Ceratophyllum demersum* (Versuch 6); ein Blick auf die Versuchsergebnisse von *Callitriche verna* (Versuch 11), *Potamogeton natans* (Versuch 12), *Potamogeton pusillus* (Versuch 13) und *Spirogyra* (Versuch 14) berechtigen jedoch zu dem Schlusse, dass bei längerer Versuchsdauer sich auch aus den genannten Pflanzen Sumpfgas entwickelt hätte. Weniger sicher möchte ich dies für *Ranunculus aquatilis* (Versuch 22, 23 und 24) behaupten, wahrscheinlich wäre es aber auch hier geschehen, wenn die Pflanzen während der Versuchsdauer öfters ausgewaschen worden wären. Ich halte mich demnach für überzeugt, dass alle abgestorbenen genuinen Wasserpflanzen spontan, d. h. ohne besondere Behandlung und ohne irgend welchen Zusatz Sumpfgas entbinden können.

Die Frage nach dem Process, durch welchen ein in seinen Einzelnheiten und näheren Ursachen uns noch unbekannter Zerfall einer organischen Substanz bei mässiger Temperatur und Luftabschluss bedingt wird, beantworten wir nach dem heutigen Stande der Wissenschaft ohne Bedenken dahin, dass dies durch den Lebensprocess eines bei Abwesenheit von Sauerstoff vegetirenden Organismus, d. h. durch einen Gährungsprocess geschehe, und wir halten uns zu dieser Antwort völlig berechtigt, wenn wir durch Kochen der Substanz den Zerfall verhindern, oder, wenn derselbe bereits im Gange ist, sistiren können. Wir schliessen dann, dass die Keime für die betreffende Gährung aus

[1] Blätter von *Nymphaea alba* schieden bei gleichzeitigen Versuchen unter ganz gleichartigen Bedingungen gar kein Gas ab.

der Atmosphäre stammen[1]. In diesem Sinne sind wir auch berechtigt, die Sumpfgasentwicklung als die Folge eines Gährungsprocesses anzusprechen. In hohem Grade interessant scheint es mir aber, dass wir durch Kochen der sumpfgasgährungsfähigen Substanz wohl die Entwicklung von Sumpfgas hindern, oder, wenn sie bereits eingetreten ist, sistiren, die Gährung überhaupt aber dadurch nicht hintanhalten können.

Bei meinen Versuchen fand sich Sumpfgas schon im Beginne der Gährung nur bei drei, gleich frisch in Verwendung gekommenen Pflanzen: *Hypnum Kneiffii* (Versuch 7), *Zanichellia* (Versuch 8 und 9) und *Spirogyra* (Versuch 25). Bei *Alisma* (Versuch 10), *Callitriche* (Versuch 11), *Potamogeton natans* (Versuch 12), *Potamogeton pusillus* (Versuch 13) und *Spirogyra* (Versuch 14) bestand das zuerst entbundene Gas aus Kohlensäure, ohne oder mit mehr oder weniger Wasserstoff, und die gährende Substanz reagirte während dieser Zeit sauer. Bei jenen Versuchen, wo die Pflanzen entweder im Kolben gekocht (Versuch 26) oder erst nach dem Kochen in die Glocken gefüllt wurden, wurde Kohlensäure und Wasserstoff entwickelt; Sumpfgas trat

---

[1] Um eine solche, wenn auch noch so wahrscheinliche Vermuthung über jeden Zweifel erhaben hinstellen zu können, müsste man das Ferment kennen, mittelst dessen wir bei einer ganz gleichartigen Substanz, in welcher selbes erwiesenermassen fehlt (und es sei mir gestattet, hinzuzufügen, sich auch sicher nicht spontan entwickelt), den betreffenden Process einleiten könnten.

In Flüssigkeiten, aus denen sich während längerer Zeit Sumpfgas entwickelte, finden sich stets Bacterien in grosser Zahl und meist denen der Buttersäure mehr weniger ähnlich. Nur einmal habe ich eigenthümliche grössere Vibrionen, die mir weder früher noch später zu Gesichte kamen, beobachtet. Der rothe Beschlag, welcher sich beim Versuche 16 vom 2. bis 26. Mai 1867 an der Lichtseite der Glocke ansetzte, bestand aus zahlreichen Vibrionen, die jenen sehr ähnlich waren, welche öfters in ganzen Klumpen auf den Wurzeln von Stecklingen der Bruchweide, die ohne Wasserwechsel in offenen Glasgefässen am Fenster gezogen wurden, auftraten. Sie sind an der Sumpfgasgährung wohl ganz unschuldig. Der Organismus, welcher letztere verursacht, ist uns noch völlig unbekannt. Nachdem es nun leicht ist, die Sumpfgasgährung bei relativ reinen Substanzen in geschlossenem Raume einzuleiten, wird es einem Fachmanne sicher nicht schwer werden, die in Rede stehende Frage in befriedigender Weise zu beantworten.

erst dann auf, nachdem die Pflanzen an die Luft gebracht und gewaschen wieder in die Gährungsgefässe kamen (Versuch 16). In hohem Grade instructiv ist in dieser Beziehung der Versuch 17; es wurde hier ein Wechsel der Buttersäure- und Sumpfgasgährung willkürlich durch die Behandlung der gährenden Substanz bestimmt. Die verschimmelten Algen entbanden nur Kohlensäure mit Spuren von Wasserstoff (?); nachdem sie ausgewaschen worden waren, hingegen nur Sumpfgas. An dessen Stelle trat nach Behandlung mit heissem Wasser Wasserstoff, um nach abermals erfolgtem Auswaschen wieder dem Sumpfgase zu weichen.

Wenn nicht, und zwar sogar relativ häufig, Fälle vorgekommen wären, wo im Beginne der Gährung nur Kohlensäure allein oder mit nur geringen Mengen von Wasserstoff gemengt auftrat, so hätte man die eigenthümliche Erscheinung vor sich, dass bei unter Wasser verwesenden Wasserpflanzen sich zwei Gährungsarten — die Buttersäure- und Sumpfgasgährung — gegenseitig bekämpfen. Bei einiger Überlegung gewinnt man aber an der Hand obiger und anderer Versuchsresultate die Überzeugung von der Thatsächlichkeit dieses Falles. Das gänzliche oder theilweise Fehlen von Wasserstoff ist kein Gegenbeweis dafür, dass die entbundene Kohlensäure das Product stattgefundener Buttersäuregährung sei, denn:

1. sind die Gährungsorganismen bei den in Rede stehenden Fällen von jenen zweifelloser Buttersäuregährung nicht zu unterscheiden;
2. hat die sauer reagirende Flüssigkeit einen meist unverkennbaren Geruch nach Buttersäure;
3. enthält in Fällen zweifelloser Buttersäuregährung (z. B. bei unter Wasser getauchten Bohnen) das beim Beginne des Processes (also zu einer Zeit, wo das Wasser noch viel Kohlensäure absorbirt) entbundene Gas dem Volumen nach viel mehr Kohlensäure als Wasserstoff;
4. wird von gährenden Wasserpflanzen unter gewissen Umständen Wasserstoff absorbirt [1].

---

[1] Ich erlaube mir diesbezüglich auf eine demnächst erscheinende Abhandlung: „Über eine mit Wasserstoffabsorption verbundene Gährung" hinzuweisen.

Wir haben also bei unter Wasser verwesenden Hydrophyten den gewiss seltenen Fall, wo wir den Kampf von zwei um ihre Existenz streitenden Organismen aus ihren Functionen nachweisen können.

Diese zwei Feinde, von denen der eine uns noch ganz unbekannt ist, haben ganz merkwürdige Eigenschaften. Während nämlich das die Sumpfgasgährung bewirkende Ferment schon bei einer relativ niederen Temperatur getödtet wird und bei dauerndem Luftabschlusse nicht wieder ersteht (Versuch 15, 16, 17 und 19), tritt die Buttersäuregährung selbst in Flüssigkeiten auf, welche sammt dem gährungsfähigen Inhalte längere Zeit gekocht und dann vor Luftzutritt geschützt wurden (Versuch 26)[1]. Der Umstand, dass gekochte Wasserpflanzen, welche erst nach fast völligem Erkalten in Gährungsgefässe gebracht wurden, auch nur die Buttersäuregährung erleiden, lässt sich kaum anders als durch die Annahme erklären, dass die Keime für das die Sumpfgasgährung bewirkende Ferment in der Zimmerluft wenigstens nicht sehr häufig sind.

Obwohl gegen hohe Temperaturen sehr empfindlich, gewinnt das die Sumpfgasgährung todter unter Wasser getauchter Hydrophyten bewirkende Ferment spontan die Oberhand über die die Buttersäuregährung veranlassenden Bacterien (Versuch 10 bis 14). Ob hierbei das Sumpfgasferment (vielleicht durch Neutralisation der seiner Entwicklung nicht zuträglich scheinenden Buttersäure) durch andere nebenher gehende Processe unterstützt wird, will ich vorläufig dahingestellt sein lassen. Die Annahme, dass das fragliche Ferment bei der oben beschriebenen Art der Gewinnung der ersten Gasportionen erst in die Glocken eingeführt wurde, scheint mir in Anbetracht des Umstandes, dass bei diesen Versuchen frische Pflanzen zur Verwendung kamen, ganz unzulässig.

Den umgekehrten Fall, dass bei ungeänderten Verhältnissen Buttersäure auf Sumpfgasgährung gefolgt wäre, habe ich nie beobachtet. Ebenso scheint mir die Gleichzeitigkeit beider Processe in demselben Gährungsobjecte ausgeschlossen zu sein.

---

[1] Ausführlicher werde ich in Bälde hierüber berichten in einer Abhandlung: „Über die Gährung der Bohnen“.

Der Befund bei dem Versuche 12 erklärt sich, wie ich glaube, dadurch, dass nach Gewinnung der ersten Gasportion die Buttersäuregährung noch einige Zeit fortdauerte und erst später die Sumpfgasgährung sich einstellte.

Ich habe wiederholt bereits hervorgehoben, dass die Flüssigkeit, in welcher unsere Wasserpflanzen während längerer Zeit in Sumpfgasgährung begriffen waren, alkalisch reagirte. Prof. Oser fand in der Flüssigkeit des Versuches 9 freies und gebundenes Ammoniak. Diese Thatsache scheint mir, zusammengehalten mit einer erst kürzlich erschienenen Abhandlung von Schoesing:[1] „Über den Kreislauf des Ammoniaks in der Atmosphäre" von besonderem Interesse zu sein. Schoesing schreibt: ...„Die atmosphärische Elektricität scheint somit bis jetzt die einzige Ersatzquelle für verbundenen Stickstoff zu sein, deren Wirkungen ganz sicher constatirt sind.

Wenn man nun die Menge verbundenen Stickstoffes berechnet, welche durch die wässerigen Meteore dem Boden zugeführt wird, überzeugt man sich, dass diese Menge geringer ist, als die, welche durch die Ernten und die unterirdischen Wässer fortgeführt wird, und man ist versucht zu behaupten, dass die atmosphärische Elektricität als Ersatzquelle nicht ausreichend sei.

Ich bemerke zunächst, dass die Oberfläche der Continente ein wesentlich oxydirendes Medium ist; die Salpetersäurebildung geht hier reichlich vor sich, wie dies die Drainirungswässer, die Quellen und die Flüsse beweisen, welche verhältnissmässig reich an Nitraten sind und arm an Ammoniak. Ein Theil der gebildeten Nitrate tritt in den Kreislauf des Lebens, der andere wird dem Meere zugeführt.

Die so fortgeführten Nitrate häufen sich im Meere nicht an; sie dienen hier zweifellos der Vegetation, denn die Analyse ergibt nur Spuren von ihnen. Ich habe nur 0·2 bis 0·3 Mgr. Salpetersäure im Liter Meerwasser gefunden und nur 0·4 bis 0·5 Mgr.

---

[1] Al. Schoesing, Compt. rend. t. 80, p. 175. Wörtlich übersetzt im Naturforscher, 8. Jahrg. 1875, p. 117.

Ammoniak. Der Stickstoff der Nitrate, welcher in den Wässern des Landes bedeutender ist als der des Ammoniaks, ist also im Wasser der Meere bedeutend geringer als dieser. Diese Resultate führen zu dem Glauben, dass die Zersetzung der organischen Wesen, eine wirksame Salpetersäurequelle auf dem Continente, zu einer Ammoniakquelle wird in einem so wenig Sauerstoff enthaltenden Medium, wie das Meer.

Man muss sich daher einen ganzen Kreislauf der Salpetersäure und des Ammoniaks auf der Oberfläche der Erde vorstellen. Die in der Atmosphäre gebildete Salpetersäure kommt früher oder später ins Meer; dort wird sie, nachdem sie in die organischen Wesen übergegangen, in Ammoniak verwandelt; nun hat die Stickstoffverbindung den für ihre Diffusion geeigneten Zustand angenommen: sie geht in die Atmosphäre, und mit dieser wandernd trifft sie, wie die Kohlensäure, Wesen, die keine Locomotion haben, zu deren Ernährung sie beitragen muss“.

Dass bei der Sumpfgasgährung das Grubengas sich aus einem Kohlenhydrate abspaltet, kann wohl keinem Zweifel unterliegen, über den Vorgang selbst können wir vorläufig nur Vermuthungen hegen. In Folge des Umstandes, dass bei dem Versuche 9 Kohlensäure und Sumpfgas wiederholt in nahezu gleichen Volumen auftraten, könnte man wohl schliessen, dass der Process einfach nach der Gleichung erfolge:

$$C_6H_{12}O_6 = 3CO_2 + 3CH_4.$$

Der Richtigkeit dieser Vorstellung widersprechen aus zwei Gründen nicht jene Fälle, bei welchen (ebenfalls bei dem Versuche 9) ein anderes Verhältniss beider Gase gefunden wurde. Mit dem Wechsel der Temperatur ändert sich nämlich auch das Absorptionsvermögen des Wassers für die Kohlensäure, und dann wird ja ein Theil der letzteren von dem bei der Gährung gebildeten Ammoniake zurückgehalten. Bei dem Versuche 9 sank dem entsprechend die relative Menge der Kohlensäure mit der Versuchsdauer [1].

---

[1] In abfiltrirter Flüssigkeit schieden sich ziemlich zahlreiche kleine Krystalle von kohlensaurem Kalk ab.

Bei der Vertorfung steigt der Kohlenstoffgehalt der sich metamorphosirenden Zellwände bisweilen sehr bedeutend. Sollte diese Umwandlung stets von Sumpfgasgährung begleitet sein, so stände wohl der Annahme nichts entgegen, dass der Bildungsprocess der letzteren nach obiger Gleichung erfolge. Die Cellulosewand ist ja ebenso wenig als die Stärke, welche wir auch nur zur Hälfte in Zucker umwandeln können, ein chemisch-physikalisches Individuum. Es scheint mir vorläufig die Hypothese nicht so ungerechtfertiget, dass nur bestimmte Molecüle der Zellwand in Kohlensäure und Sumpfgas zerfallen, während von anderen vielleicht das dazu nöthige Wasser geliefert wird.

Obwohl wir wissen, dass die Vertorfung nur sehr langsam fortschreitet, so schien es doch von Interesse, bei den Pflanzen des Versuches 9 (*Zanichellia dentata*) nach einer 8½jährigen Gährungsdauer den Kohlenstoffgehalt zu bestimmen. Prof. Oser fand als Mittel von zwei Verbrennungsanalysen derselben: Kohlensäurefreie Asche (Reinasche) = 29·37%, und auf aschenfreie Substanz gerechnet:

Kohlenstoff... 54·51%
Wasserstoff .. 6·39%

Der directe Nachweis, dass die Sumpfgasgährung in der That von einer Vertorfung begleitet ist, scheint mir nicht ohne Interesse zu sein.

Dass wir in der älteren Steinkohle, zum grössten Theile wenigstens, Reste von Seegewächsen vor uns haben, wird heute wohl kaum mehr bezweifelt. Wäre dieser Umwandlungsprocess auch in den fortgeschrittenen Stadien von Sumpfgasgährung nothwendig begleitet und bedingt, so würden die ursprünglich in den sich metamorphosirenden Pflanzen enthaltenen Eiweissstoffe sicher nicht ausreichen, um die für diesen Process nach dem heutigen Stande der Wissenschaft unentbehrlichen Organismen zu ernähren.

Mit Bezug auf meine früheren diesbezüglichen Untersuchungen möchte ich die Resultate der in vorliegender Ab-

handlung mitgetheilten Versuche etwa in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Alle bisher in dieser Richtung untersuchten Landpflanzen erleiden bei Luftabschluss unter Wasser und ohne weiteren Zusatz eines Fermentes die Buttersäuregährung. Das Gleiche ist der Fall bei vielen Sumpfpflanzen.

2. Die meisten Wasser- und viele Sumpfpflanzen entwickeln unter gleichen Bedingungen Sumpfgas. In diesem Falle geht der Entbindung von Grubengas häufig Buttersäuregährung voraus.

3. Die Sumpfgasentwicklung unterbleibt, wenn die Pflanzen vor der Einfüllung in die Apparate oder in den Gährungsgefässen selbst gekocht werden; es stellt sich dann nur Buttersäuregährung ein.

4. Werden gekochte Wasserpflanzen, welche nur Kohlensäure und Wasserstoff entbanden, in einem offenen Gefässe gewaschen, so entwickeln sie dann bei weiter fortgesetztem Versuche Sumpfgas.

5. Die Entwicklung von Sumpfgas aus abgestorbenen Pflanzen muss nach dem heutigen Stande der Wissenschaft als ein Gährungsact aufgefasst werden. Die diesen Process bedingenden, bisher noch unbekannten Organismen oder deren Keime, welche in der Luft nicht in übergrosser Menge vorhanden zu sein scheinen, sind gegen hohe Temperaturen entweder viel empfindlicher als das Buttersäureferment oder unsere Vorstellung über die Genesis des letzteren ist unrichtig.

6. Die Flüssigkeit, in welcher Pflanzen während längerer Zeit in Sumpfgasgährung begriffen waren, reagirt stark alkalisch; es findet sich in derselben Ammoniak.

7. In Folge der Ammoniakbildung von im Meere verwesenden Pflanzen (welche hauptsächlich wohl von der durch die Flüsse aus den Continenten zugeführten Salpetersäure ernährt wurden) wird durch das verdunstende Wasser verbundener Stickstoff wieder den Landpflanzen zugeführt.

8. Der Zerfall der Cellulose bei der Sumpfgasgährung erfolgt wahrscheinlich nach der Gleichung: $C_6H_{10}O_5 + H_2O = 3CO_2 + 3CH_4$. Dass die Kohlensäure bei längerer Gährungsdauer in

geringerer als der nach dieser Gleichung geforderten Menge auftritt, ist bedingt durch die Bindung des gleichzeitig gebildeten Ammoniaks.

9. Bei längere Zeit andauernder Sumpfgasgährung erfolgt eine theilweise Vertorfung der Versuchspflanzen.

Im letzten Hefte des Pflüger'schen Archives für Physiologie 10. Bd., Seite 113—146 (1875) findet sich eine wichtige Mittheilung von Untersuchungen „Über die Sumpfgasgährung", welche von Herrn Dr. Leo Popoff auf Anregung und unter Leitung des Herrn Prof. Hoppe-Seyler durchgeführt wurden. Hoppe-Seyler wurde zu dieser Arbeit natürlich durch ganz andere Motive bestimmt als ich. Eine derartige Untersuchung, heisst es l. c. p. 116, „führt uns zur Kenntniss jener noch in Dunkel gehüllten Processe, welche in Sümpfen und stehenden Gewässern vor sich gehen und denen man die Veranlassung verschiedener Erkrankungen von Menschen und Thieren Schuld gibt." Das Sumpfgas wurde auch wiederholt unter den Darmgasen gefunden; so von Planer[1] in den Gedärmen eines in Folge von Tuberculose verstorbenen Individuums (12·88 %) und von Ruge[2] bei seinen Versuchen mit Menschen nach vegetabilischer Kost im Dickdarme in grosser Menge (bis zu 55·96 %).

Hoppe-Seyler und Popoff studirten die Sumpfgasentwicklung in einer Schlammmasse, welche aus der Mündung eines Strassenablaufcanales in den Fluss entnommen war. Dieser Schlamm enthält alle möglichen Küchenabfälle und sonstige in der Zersetzung weit fortgeschrittene organische Substanzen und scheint in seinen Zersetzungsprocessen dem Schlamme der Sümpfe zu entsprechen, nur noch reicher daran zu sein." — Die Versuche wurden gemacht in umgestürzten, 1000 bis 2000 CC.

---

[1] Planer, Die Gase des Verdauungsschlauches. Sitzungsb. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. Bd. 42, p. 307. 1860.

[2] E. Ruge, Beiträge zur Kenntniss der Darmgase. Sitzungsb. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. Bd. 44, p. 739.

hältigen Kolben, welche noch etwas Luft enthielten. Das mittelst eines durchbohrten Pfropfes in den Kolben eingeführte und befestigte Ableitungsrohr mündete in den lufthältigen Raum des Gefässes. „Diese Vorrichtung nähert nämlich den Versuch bis zu einem gewissen Grade den Verhältnissen, wie sie in Sümpfen und stehenden Gewässern vorliegen. Von einigen Autoren wird auch das Vorhandensein von Luft resp. Sauerstoff beim Gährungsprocesse für nöthig erklärt und war bei unseren Versuchen vermuthlich nicht überflüssig“ (l. c. p. 117).

Hoppe-Seyler und Popoff haben versucht, verschiedene Substanzen in Sumpfgasgährung zu versetzen. „Als Ferment, wenn ein solches angewendet wurde, diente eine kleine Menge Schlamm zu 10 und 15 Tropfen bis 2 und 3 CC.“ Es wurde Sumpfgas gefunden bei Versuchen in etwas lufthältigen Kolben: [1]

1. Mit Heu ohne Ferment, 0·83 %;
2. mit frischem Ochsenmageninhalte ohne Ferment. 1. Portion: 1·0 %, 2. Portion: 0·96 %;
3. mit Kartoffelcellulose ohne Ferment: 6·54 %;
4. mit 8 Grm. zerzupften schwedischen Filtrirpapiers, vermengt mit 15 CC. sehr verdünnten Schlammes: 6·19 %;
5. mit 8 Bogen schwedischen Filtrirpapiers, versetzt mit 20 CC. sehr verdünnten Schlammes, 1. Portion: 14·42 %, 2. Portion: 26·91 %, 3. Portion: 37·12 %;
6. mit gewöhnlichem Filtrirpapier, versetzt mit minimalen Mengen von *Micrococcus prodigiosus*, fast ohne Schlamm: 17·91 %;
7. mit arabischem Gummi, vermengt mit etwas Schlamm unter Luftabschluss, 1. Portion: 5·99 %, 2. Portion: 6·52 %.

In allen diesen Fällen wurde neben Sumpfgas meist eine relativ beträchtliche Menge von Wasserstoff gefunden.

„Die Ursache, dass bei den Versuchen 1, 3 und 4 nach einiger Gährungsdauer das Sumpfgas verschwand und seinen Platz vollständig an den Wasserstoff abtrat, dürfte“, heisst es l. c.

---

[1] Die absoluten Gasmengen, welche bei diesen Versuchen entbunden wurden, sind nicht angegeben; es wird meist nur angeführt, dass dieselben für eine Analyse eben ausreichten.